

ÖZET

Fotogrametride son yıllarda bilgisayar biliminde meydana gelen büyük gelişmeler nedeniyle, sayısal alet ve yöntemler önem kazanmaya başlamıştır. Bu gelişmeler sonucunda, fotogrametride hızla otomasyona gidilmekte, pek çok üretim sistemlerinde hız ekonomisi ve kolaylıklar sağlanmaktadır. Fotogrametrideki sayısal yöntemler, alet ve sistemler konusundaki çalışmalar, testler halen devam etmektedir. Tüm beklentilere (hız, ekonomi, doğruluk, maliyet ve otomasyon açısından) yanıt veren, bütün sorunları çözebilen sayısal sistemlerin geliştirilmiş olduğunu söylemek pek kolay değildir. Ancak, özellikle; sayısal veri elde edilmesi, GPS destekli fotogrametrik nirengi ve blok dengelemeler, GPS destekli navigasyon, sayısal görüntü işleme teknikleri, uzaktan algılama, sayısal (digital) fotogrametri alet ve yöntemleri, fotogrametri - GIS bütünleşmesi, ortofoto haritaları üretimi, sayısal fotogrametrik çalışma istasyonları gibi konularda meydana gelen değişim ve gelişmeler, fotogrametrinin geleceğini yönlendirebilecek düzeydeki çok önemli gelişmelerdir. Fotogrametrinin gelişmesi, bu gelişmelere büyük ölçüde bağlıdır.

ABSTRACT

Since the enormous developments have been available in computer science in recent years, digital instruments and methods have been played a big role in Photogrammetry. As a result of these developments, automation has been applied to photogrammetry, and also speed, efficiency and some facilities have been provided in most production systems. Tests and activities relating to digital methods and systems are being continued. It is not easy to say highly developed digital systems which are able to solve all problems in photogrammetry and response all expectations (accuracy, speed, efficiency, cost, automation, . . .) are available. But changes and developments relating to data capture, GPS- supported aerial triangulation and block adjustment, GPS- based navigation, digital image processing techniques, remote sensing, digital photogrammetry instruments and methods, integration of photogrammetry and GIS, production of orthophoto maps, digital

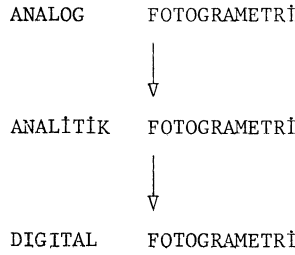
photogrammetric stereo workstations are important developments to effect the future of Photogrammetry. The development of photogrammetry depends on mainly these developments and changes.

1. GİRİŞ

Fotogrametride son zamanlarda çok hızlı gelişme ve değişimler olmaktadır. Fotogrametri hızla yeniden yapılanmakta ve yeni teknolojilere doğru kaymaktadır. Fotogrametride çok hızlı değişmelere neden olan temel gelişmeler şunlardır:

- Elektronik alanındaki gelişmeler,
- Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler,
- Bilgisayar bilimindeki gelişmeler /3/.

Son 30 yıl içerisinde fotogrametride meydana gelen gelişmelerin genel eğilimi şöyle özetlenebilir:



2. FOTOGRAMETRİDE MEYDANA GELEN YAPISAL DEĞİŞİKLİKLER

Son yıllarda fotogrametride çeşitli yöntemler, aletler ve uygulamalarda meydana gelen yapısal değişiklikler şunlardır:

- Analog yöntemler uzun yıllar başarı ile kullanılmıştır.
- Analitik yöntemlerde de aynı başarı devam etmiştir.
- Fotogrametrik nokta tesbiti hassas olarak yapılmıştır.
- Fotogrametrik ölçümlerde otomasyona gidilmektedir.
- Çok yetenekli hava kameraları ile, uçağın yüksek frekanslı hareketleri bilgisayar destekli kontrol edilebilmektedir.
- Kamera konumları (X_0 , Y_0 , Z_0), GPS (Global Positioning System) kullanılarak belirlenebilmektedir.

- Görünen ve görünmeyen spektral bant aralıklarında sayısal görüntü kaydedebilecek yeni hava kameraları geliştirilmektedir.
- Sayısal veri toplama yöntemleri önem kazanmıştır.
- Sayısal (Digital) görüntüler kullanılmaya başlanmıştır.
- Sayısal görüntü kaydı için çeşitli teknikler geliştirilmiştir.
- Fotogrametrik sayısal veriler GIS (Geographic Information System, Coğrafi Bilgi Sistemi) ile bütünleşmeye başlamıştır.
- Fotogrametrik sistemlerde küçük sorunlar yerine büyük sorunlar çözülmeye başlanmıştır.
- Fotogrametri endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır /2/, /3/.

Fotogrametri bugün artık GIS'e, endüstriyel uygulamalara ve sayısal görüntü işleme (digital image processing) konularına doğru kaymaktadır. Fotogrametrinin özellikle GIS ile olan ilişkisi son derece önemli olup, günümüzde de en çok araştırılan konulardan birisidir /2/.

Yakın gelecekte fotogrametride; Raster / vektör karışımı (hybrid) veri elde etme yöntemlerinin önem kazanacağı, geliştirilmiş analog hava kameralarının kullanımının devam edeceği, yüksek ayırma güçlü (resolutionlu) taramacılar kullanılarak elde edilen sayısal formattaki verilerin yaygın olarak kullanılacağı, sayısal (digital, softcopy) fotogrametrinin liderliğini yapan sayısal fotogrametrik stereo çalışma istasyonlarında veri toplama işlemlerinin yapılabileceği beklenmektedir /2/.

Fotogrametride bundan sonra yapılacak en önemli şey, fotogrametri alanındaki tüm bilimsel ve teknolojik gelişmeleri dikkatle yakından izlemek, geliştirilen tüm yöntemleri hassas, etkili, güvenilir şekilde pratikte uygulanabilir hale getirmek, bilgisayar teknolojisi ve biliminin getirdiği büyük olanaklardan üst düzeyde yararlanmaktır. Bu yeni gelişmelere ayak uydurmayan kişi, kurum ve kuruluşlar büyük bir gerileme dönemi yaşayacaklardır /2/, /3/.

3. GIS'İN ÖNEMİ, GIS'İN SAĞLADIĞI OLANAKLAR, GIS'İN GELİŞMESİ, GIS VE FOTOGRA METRİNİN BÜTÜNLEŞMESİ

GIS'in temel amacı; geometrik ve semantik (öznitelik) bilgileri toplamak, güncelleştirmek, geri getirmek, analizini yapmak ve sunmaktır.

GIS'i sadece fotogrametrik ve diğer yöntemlerle toplanan verileri arşivleyen, geri çağıran, analiz ederek sunan bir bilim dalı şeklinde düşünmek hatalıdır. Fotogrametri, görüntüden veri elde eden, geometrik verileri çıkarmaya yarayan bir sistemdir. Örneğin, fotogrametrik ortofoto (orthoimage) harita, GIS'te bir altlık olarak kullanılabilir /3/.

GIS'in sağladığı olanaklar şunlardır:

- Evrensel boyutlarda veri elde etme olanağı mevcuttur.
- Diğer sınıf bilgilerle (tematik, fiziksel) sürekli etkileşim içindedir.
- Pek çok meslek grupları ile ilişki içindedir. (Fotogrametri sadece belirli meslek alanlarına yönelik bilgiler verir) /2/.

Fotogrametri ve GIS temelde birbirinden ayrık olarak gelişen, iki ayrı teknolojidir. Her ikisi de bilgisayarlar (donanım ve yazılımlar), algılayıcılar, çıktı aletleri ve bilgi iletişim teknolojilerinden çok fazla etkilenmişlerdir.

GIS, hızlı ve otomatik veri toplama işlemini yapılabilmesi için fotogrametriye gereksinme duyar. Bunun yanında, toplanan bu veriler üzerinde çok karmaşık işlemlerin yapılması (ilişkisel görüntü çakıştırma teknikleri, veri modellerinin oluşturulması gibi) için GIS'e gerek vardır. Örneğin, güncel görüntü verilerini içermeyen bir GIS'in mevcut halihazır durumu gösterdiği söylenemez. Aynı şekilde DTM (Digital Terrain Model, Sayısal Arazi Modeli)' siz bir GIS, düz bir arazi ile sınırlandırılmış olur. Fotogrametri bu aşamada, GIS'i tamamlayıcı, eksikliklerini giderici, vektörel veri yanında bazı öznitelik bilgilerini de GIS'e sunarak, GIS'i destekleyici bir rol oynamaktadır /3/.

Kısaca, fotogrametri ile GIS'in birbirinden ayrılması çok zordur, birbirleriyle bütünleşmesi gerekmektedir. Fotogrametri ve GIS'in bütünleşmesinde yapılacak en önemli şey, fotogrametriyi GIS içine almak değil, iki sistem arasındaki bağlantıyı en iyi şekilde kurmaktır /3/.

Yakın gelecekte GIS'de şu gelişmelerin olacağı beklenmektedir:

- Yükseklik verilerinin GIS içine ek öznitelikler olarak sokulması sağlanacak. (Bugün için bu uygulama sağlanmış durumdadır).
- GIS ile DTM'in bütünleşmesi sağlanacak. (Bugün bu uygulama da sağlanmakla beraber, tam bir bütünleşme henüz mevcut değildir).
- Uygun fonksiyonlarla üç boyutlu veri yapılarının tanımlanması sağlanacaktır /2/.

4. FOTOGRAMETRİ ALANINDA MEYDANA GELEN GELİŞMELERİN SINIFLANDIRILMASI

a. Analitik Fotogrametrideki Gelişmeler

- (1) Analitik Fotogrametrik nirengi ve dengelemeler,
- (2) Sayısal yükseklik modellerinin (DEM, Digital Elevation Model) elde edilmesi,
- (3) Analitik aletler, analitik ortoprojektörler,

b. Sayısal Haritalar, Sayısal Veri Tabanlarındaki Gelişmeler

- (1) Sayısal harita yapımı,
- (2) Sayısal topografik veri tabanlarının oluşturulması,
- (3) Etkileşimli grafik çalışma istasyonları ve superimposition (videomap) olanaklarının ortaya çıkması,

c. Sayısal (Digital, Softcopy) Fotogrametri Alanındaki Gelişmeler

- (1) Sayısal görüntü işlemede birinci düzey işlemler,
- (2) Sayısal görüntü işlemede ikinci düzey işlemler,
- (3) Etkileşimli sayısal görüntü işleme,
- (4) Uzaktan algılama, çok renkli sınıflandırma,

d. Algılayıcılar ve Aletlerde Meydana Gelen Gelişmeler

- (1) Sayısal (digital) kameraların gelişmesi,
- (2) Fotogrametriye GPS yönteminin kullanılmaya başlanması, kinematik GPS,
- (3) Lâzer profillemeye yöntemlerinin gelişmesi,
- (4) Uydu tarayıcı (scanner) sistemlerindeki gelişmeler,
- (5) Fotoğrafların sayısallaştırılması, resim tarayıcı (Photo Scanner) sistemlerindeki gelişmeler,
- (6) Sayısal aletler (digital plotter), sayısal fotogrametrik stereo çalışma istasyonlarındaki gelişmeler,
- (7) Algılayıcı (sensör) sistemindeki gelişmeler,

e. Fotogrametri Alanında Geliştirilen Diğer Yöntemler

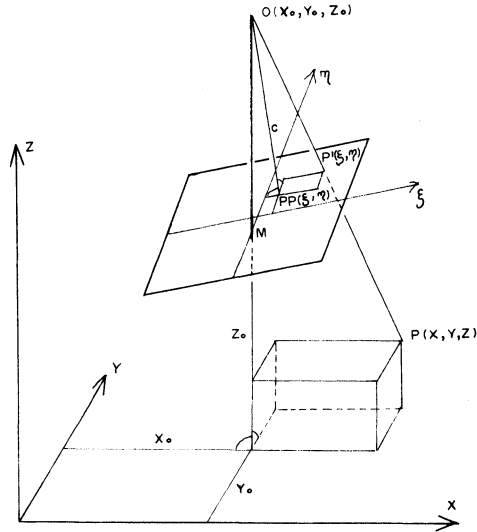
- (1) Sayısal fotogrametriye nokta tespiti (otomatik fotogrametrik nirengi),
- (2) Sayısal haritalardan coğrafi bilgi sistemlerine (GIS) geçiş,
- (3) Görüntü işleme (Image processing), görüntü analizi (Image analysis), görüntü anlama (Image understanding) gibi sayısal görüntü işleme tekniklerindeki gelişmeler,

- (4) Gerçek zamanlı (Real-time) fotogrametri konusundaki gelişmeler,
- (5) Endüstriyel alanlarda fotogrametrinin kullanımı,
- (6) Sayısal ortofoto, sayısal ortofoto haritaları ve ortofoto mozaiklerin üretimi,
- (7) Uydu görüntü çiftlerinden (SPOT gibi) yararlanarak orta ölçekli (1/50000 - 1/100000) topografik harita üretimi,
- (8) Uydu görüntü çiftleri (SPOT gibi) yardımı ile fotogrametrik nirengi işleminin yapılması,
- (9) Görüntü korelasyonu (image correlation) yöntemiyle sayısal (digital) verilerden DEM (Digital Elevation Model) verilerinin elde edilmesi.

a. Analitik Fotogrametrideki Gelişmeler

(1) Analitik Fotogrametrik Nirengi ve Dengelemeler

Son 20 yıl içinde geliştirilen Analitik Fotogrametri yardımıyla, temel izdüşüm denklemleri (colinearity equations) kullanılarak, resim koordinatlarından (x, y, c) arazi (obje) koordinatlarının (X, Y, Z) bulunması ile, fotogrametrik yöntemle nokta tespitinde (fotogrametrik nirengide) ekonomi, hız ve doğruluk artışı sağlanmıştır (Şekil-1).



Şekil-1: Resim ve arazi (obje) koordinatları arasındaki ilişki

$$\xi = \xi_0 - c \frac{r_{11}(X-X_0) + r_{21}(Y-Y_0) + r_{31}(Z-Z_0)}{r_{13}(X-X_0) + r_{23}(Y-Y_0) + r_{33}(Z-Z_0)}$$

$$\eta = \eta_0 - c \frac{r_{12}(X-X_0) + r_{22}(Y-Y_0) + r_{32}(Z-Z_0)}{r_{13}(X-X_0) + r_{23}(Y-Y_0) + r_{33}(Z-Z_0)}$$

İzdüşüm Eşitlikleri
(Colinearity Equations)

formüllerde geçen terimlerin anlamları şöyledir:

(X,Y,Z) Arazi (obje) koordinatları
 (η , ξ) Resim (foto) koordinatları
 (X₀,Y₀,Z₀). İzdüşüm merkezinin koordinatları
 (r₁₁,r₁₂, ,r₃₂,r₃₃) $\mathcal{M}, \phi, \omega$ açısal dönüklük elemanlarına
 bağlı katsayılar (9 adet)

Fotogrametrik blok dengelemelerin gelişimi şöyledir:

- Kolon (şerit) dengelemesi (kolon),
- Bağımsız modellerle blok dengeleme (model),
- Işın demetleriyle blok dengeleme (resim),
- Ek parametrelili ışın demetleri dengelemesi,
- Jeodezik Fotogrametrik ölçülerin birlikte dengelenmesi,
- GPS destekli fotogrametrik blok dengeleme.

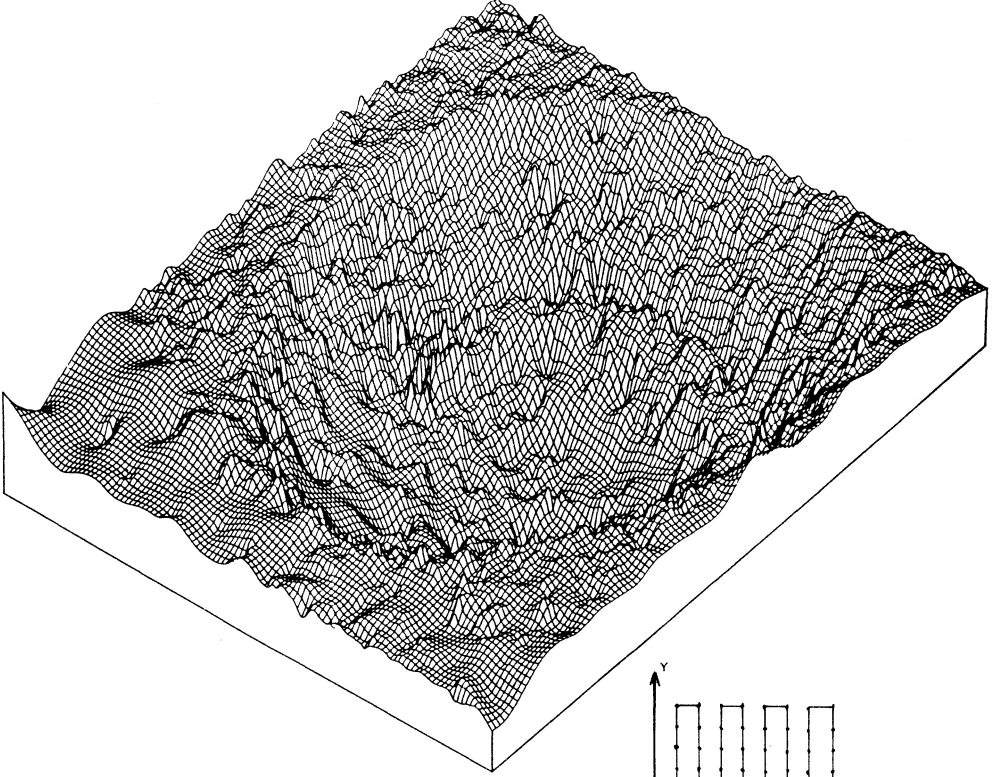
Analitik fotogrametrik nirenginin sağladığı olanaklar şunlardır:

- Çeşitli fotogrametrik nirengi ölçüm ve dengeleme yöntemlerinin gelişmesi,
- Modellerin veya ışın demetlerinin birbirine bağlanması,
- Nokta aktarma (transferi) işleminin sağlanması,
- Blok dengeleme yapılabilmesi,
- Blok dengelemede yardımcı verilerin kullanımı (APR, STATOSCOPI gibi),
- Blok dengelemede otomatik kaba hata tespitinin yapılması,
- Self kalibrasyon ve ek parametrelerle dengeleme yapılabilmesi,
- GPS kamera konum verilerinin blok dengelemede kullanılmaya başlaması,
- Kontrol noktası sayısının azaltılması,
- Doğruluk artışı sağlanması /2/.

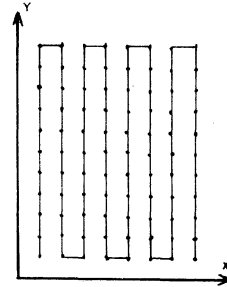
Son yıllarda GPS konum belirleme yöntemlerinin fotogrametride yaygın olarak kullanılmaya başlaması ile, GPS destekli fotogrametrik blok dengelemesine ağırlık verilmekte, bu konuda yoğun araştırmalar yapılmaktadır,

(2) Sayısal Yükseklik Modellerinin (DEM : DIGITAL ELEVATION MODEL) elde edilmesi

DEM verilerinin elde edilmesi, önemli fotogrametrik gelişmelerden birisidir. Tamamen bilgisayar destekli olarak yapılan bir çalışmadır. DEM verilerinin, profiller boyunca ya da belirli grid ağı noktalarında ölçümü ve çiziminin yapılması olanaklıdır (Şekil-2, Şekil-3).



Şekil-2:Örnek bir DTM verisinin gösterimi perspektif



Şekil-3:Profiller boyunca DTM verisi toplama

Sayısal yükseklik modelleri (DEM) başlangıçta, sadece eş yükseklik eğrilerinin hesaplama otomatik olarak ortaya çıkartılmasında kullanılmıştır. Bunun sonucunda yüksek doğruluk ve kalitede eş yükseklik eğrileri elde edilmiştir. Sonraları, DEM'ler sayısal bilgi sistemlerinin kurulmasında önemli katkılarda bulunmuştur /3/.

DEM verilerinin en çok kullanıldığı alanlar şunlardır:

- Sayısal ortofoto ve ortofoto haritalarının yapımı,
- İki boyutlu GIS vektörel veri setlerine (detaylara ilişkin) üçüncü boyutun verilmesi.

GIS içerisinde DEM verilerinin çok yönlü kullanımı söz konusudur:

- Eş yükseklik eğrilerinin hesaplama çizdirilmesi,
- Sayısal eğim modellerinin oluşturulması,
- Eğim haritalarının yapılması,
- Görünen-görünmeyen bölgelerin analizi,
- Topografik amaçlı perspektif görüntüler elde edilmesi,
- Gölgeleme haritaları yapımı /8/.

(3) Analitik Aletler, Analitik Ortoprojektörler

Analitik aletler temel anlamda, arazi (obje) ve resim noktaları arasında izdüşüm ilişkilerini sağlayan bilgisayar destekli bir alet sistemidir,

Bu aletler genel amaçlı bir bilgisayarla desteklenirler, gelişmiş modellerinde yüksek duyarlılıklı grafik ekranlar mevcut olup, editleme ve veri işleme yapılabilir.

Gelişmiş analitik aletlerin en fazla kullanıldığı alanlar şöyle özetlenebilir:

- Fotogrametrik sayısal veri toplama (veri tabanı içinde),
- Fotogrametrik nirengi ölçümlerinin yapılması,
- Fotogrametrik toplanan sayısal verilerin işlenmesi, editlenmesi,
- Süperimposition (videomap) olanağı sayesinde veri güncelleştirmesi yapılması,
- Manyetik ortamlarda sayısal veri çıktısı veya değişik altlıklarda grafik çıktı alınması,
- Fotogrametrik blok dengelemelerin yapılması,
- Çeşitli mühendislik ölçümlerinin (uzunluk, alan, hacim, eğim hesabı gibi) yapılması,

- Uydu görüntü çiftlerinden orta ölçekli (1/50000, 1/100000 gibi) topografik haritalar yapımı,
- DTM verilerinin toplanması,
- Yol projelerinden en ve boy kesitlerin çıkarılması,
- GIS amaçlı, sayısal grafik verilerin yanında bazı önemli öznitelik bilgilerinin de toplanması /7/.

Analitik aletler ile beraber, ortofoto haritaların üretilmesinde kullanılmak üzere, bilgisayar destekli analitik ortoprojektörler de geliştirilmiştir. Bu aletlerle, analog yöntemlerle gerçekleştirilen ortofoto harita üretimindeki hız, doğruluk, kalite ve ekonomi standartları geçilmiştir. Ancak eski tip optik (analog) ortoprojeksiyonlu aletler de halen ortofoto üretiminde başarıyla kullanılmaktadır /1/.

b. Sayısal Haritalar, Sayısal Veri Tabanlarındaki Gelişmeler

Sayısal haritalar ve sayısal veri tabanları temelde GIS oluşturulmasındaki ilk çalışmaları içerir. Bu verilerle oluşturulacak bilgi sistemleri, raster bazlı ya da vektör bazlı olabilir.

Vektörel veri tabanlarının avantajları şunlardır:

- Hatlar çok kolay yorumlanabilir (Detayları ayırtedebilme olanağı),
- Topolojik yapı kurulabilir,
- Veri tabanı boyutları küçüktür,
- Veriler ayrı bilgi katmanlarında toplanabilir,
- Güncelleştirme (updating) kolayca yapılabilir /3/.

Vektörel veri tabanlarının dezavantajları şunlardır:

- Fiyat, maliyet oldukça yüksektir,
- Sadece seçilmiş detaylar görülebilir,
- Diğer kullanıcılara pek uygun değildir,
- Veri tabanının tamamının güncelleştirilmesi çok pahalıdır /3/.

Raster bazlı veri tabanlarının avantajları şunlardır:

- Tüm detaylar görülür,
- Nispeten düşük fiyatlarla elde edilir,
- Pek çok kullanıcıya yardımcı olan bilgileri içerir,
- Tüm arazi sisteminin güncelleştirilmesi fazla pahalı değildir /3/.

Raster bazlı veri tabanlarının dezavantajları şunlardır:

- Bazı detayların yorumlanması oldukça zordur,
- Güncelleştirme işlemi tekrar fotoğraf alımını gerektirir,
- Topoloji kavramı yoktur,
- Büyük boyutlu veri tabanları mevcuttur /3/.

(1) Sayısal Harita Yapımı

Önceleri analog (grafik) yöntemle üretilen haritalar, bilgisayar teknolojisi ve grafik veri işleme tekniklerinin gelişmesi ile, sayısal olarak üretilmeye başlanmıştır.

Başlangıçta sınırlı kapasiteli bir bilgisayar, bir stereo fotogrametri aleti ve bir çizim masasından oluşan basit yapıdaki aletlerle sadece on-line grafik işlemler yapılabilirdi.

Daha sonra geliştirilen analitik alet sistemlerinde; grafik işlemlerin daha kolayca yapılabilmesi, bilgisayar kapasitelerinin artması, veri editleme olanaklarının artması ve etkileşimli çalışma istasyonlarının ortaya çıkması sonucunda, analitik aletler kontrol ve güncelleştirme amaçları için de kullanılmaya başlanmıştır /7/, /8/.

(2) Sayısal Topografik Veri Tabanlarının Oluşturulması

Günümüz analitik aletleri ile veri toplama yöntemlerinde, (1)'de belirtildiği şekilde, sadece sayısal harita üretimi ve sayısal veri kütüklerinin oluşturulması yetersiz görülmektedir. Çünkü, bu şekilde toplanan veriler ile sayısal topografik veri tabanları oluşturulmadığı sürece, bu sayısal harita veri kütükleri çok fazla anlamlı olamazlar. Verilerin gösterimi, düzeltilmesi, bazı öznitelik bilgilerinin gelişmiş analitik alet sistemleri içerisindeki mevcut veri tabanlarında yapılmasının temel amacı; tüm verilerin GIS veri tabanları içine alınabilmesi veya GIS veri tabanlarına dönüştürülebilmesi, böylece GIS ile bütünleşmenin kolayca sağlanabilmesi içindir /2/.

(3) Etkileşimli Grafik Çalışma İstasyonları ve Superimposition (Videomap) Olanaklarının Ortaya Çıkması

Burada sözü edilen grafik çalışma istasyonları (grafik ekranlar), analitik alet sistemi ile etkileşimli olarak çalışan, sayısal grafik verilerin işlendiği, editlendiği, pek çok grafik işlemlerin yapıldığı bir analitik alet çevre birimidir. Kartografik sembol kütüklerinin oluşturulması, genelde bu grafik ekranlar ile sağlanır.

Fotogrametrik analitik aletlerde kullanılan superimposition (videomap) sisteminin yararları şunlardır:

- Model alanında sayısal verilerin tamamının toplanıp-toplanmadığının kontrol edilmesi,
- Grafik verilerde gerekli düzeltmelerin (silme, kaydırma, birleştirme gibi işlemlerin) yapılması,
- Sayısal verilerde kalite kontrolünün sağlanması,
- Komşu model ve komşu paftalarda kenarlaşmanın sağlanması,
- Daha önce toplanmış verilerde güncelleştirme yapılması /7/.

c. Sayısal (Digital, Softcopy) Fotogrametri Alanındaki Gelişmeler

Fotogrametrideki en büyük gelişmelerden birisi de, analitik fotogrametriden sayısal fotogrametriye geçişin sağlanmasıdır. Fotogrametrinin gelişme evreleri olan analog, analitik ve sayısal fotogrametrinin en genel biçimde tanımları şöyle yapılabilir:

- Analog fotogrametri; resimlerle başlar, optik-mekanik aletlerle devam eder,
- Analitik fotogrametri; resimlerle başlar, bilgisayar destekli aletlerle devam eder.
- Sayısal fotogrametri; bu yöntemde kamera görüntü düzlemindeki ışık fotografik olarak değil, elektronik araçlarla kaydedilir. Sonra insan gözü ve algılamasını taklit eden bilgisayarlı tekniklerle devam eder. Bu yönetime Computer Vision, Image Understanding, Pattern Recognition, Softcopy Photogrammetry veya Digital Photogrammetry gibi isimler de verilmektedir /9/.

Sayısal (digital) görüntü veya sayısallaştırılmış (digitized) fotografik görüntünün en küçük elemanına piksel adı verilir. Pikselin bir alanı vardır. Her piksel arazi yüzeyine ilişkin bilgi taşıyan küçük bir görüntü birimidir. Pikseller siyah-beyaz bir görüntüde, 0 ile 255 arasında bir değer alır. Yani piksel değerleri, gri seviyesi değeri ve yoğunlukları gösteren değerlerdir. Renkli resimlerde ise (RGB : Red, Green, Blue), aynı görüntü dizisine ait 3 ayrı görüntü matrisi mevcuttur /9/.

Sayısal fotogrametride sayısal görüntü bilgileri kullanıldığından, görüntü koordinat sistemi (x,y) ile piksel koordinat sistemi arasında bir ilişki kurmak gereklidir.

Daha hassas ve doğru sayısal görüntü verilerinin elde edilmesi için, hava filmlerinin yüksek ayırma gücü (resolution) duyarlığında taranması gerekir. Taranmış veriler çok büyük yer kaplar. Örneğin 23 cm. boyutundaki bir resim 7,5 mikron ayırma gücünde tarandığında, yaklaşık 1 Giga Byte yer kaplar. Bu nedenle fotoğrafların bölümlere ayrılarak taranması uygun bir çözümdür /3/.

Sayısal fotogrametri konusunda yoğun araştırmalar devam etmektedir.

(1) Sayısal Görüntü İşlemede Birinci Düzey İşlemler

Sayısal görüntü işleme (digital image processing)'nin temeli; sayısal veya sayısallaştırılmış fotoğraflara dayanır. O halde sayısal görüntü işlemede kullanılan veriler şunlardır;

- Uydu tarayıcı sistemleriyle elde edilen sayısal görüntü verileri,
- Resim tarayıcı sistemleriyle elde edilen sayısal fotografik görüntüler.

Günümüzde fotoğrafların sayısallaştırılması yoluyla sayısal görüntülerin elde edilmesi yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Birinci yöntemin yaygın olarak kullanıldığını söylemek zordur. Ayrıca bu yöntemde, verilerin depolanması, işlenmesi ve sunulması için çok güçlü bilgisayarların kullanılması gereklidir /3/.

Sayısal görüntü işleme, sayısal görüntülerden grafik, fiziksel ve grafik olmayan bilgilerin, bilgisayar işlemleriyle çıkarılmasıdır.

Görüntü işlemede uygulanan en temel (Birinci Düzey) işlemler şunlardır:

- Görüntü zenginleştirme (Image enhancement),
- Geometrik düzeltme (Geometric correction),
- Radyometrik düzeltme (Radiometric correction),
- Filtreleme işlemleri,
- Bölgesel görüntü işlemleri (özellikle detay verilerini ortaya çıkarmak için) /9/.

Sayısal görüntü verilerinden görüntü korelasyonu (image correlation) yöntemi ile yükseklik belirlemesi sonucunda, stereoskopik yükseklik ölçmelerinden elde edilen yükseklik değerlerine yakın doğrulukta, kalitede sonuçlar elde edilmiştir /3/, /4/.

(2) Sayısal Görüntü İşlemede İkinci Düzey İşlemler

Sayısal görüntü işlemede otomasyon çok önemlidir. Sayısal görüntü verilerinden (birinci düzey işlemler yapılmış) yararlanarak topografik detayların ortaya çıkarılması, ikinci düzey işlemleri oluşturur. Ancak bu işlem çok zor ve zaman alıcı olup, bugün bu sorunun çözülmesi için pek çok araştırmalar yapılmakta ve çoğunlukla olumlu sonuçlar alınmaktadır. Örneğin bu amaçla, görüntü üzerinde otomatik olarak kontrol noktaları tanımlanarak yaklaşık koordinat değerleri bilinen detayların görüntülerde bulunması olanaklı hale gelmiştir /2/.

(3) Etkileşimli Sayısal Görüntü İşleme

Bu yöntemin temel amacı; çok zor, yorucu ve zaman alıcı bazı işlemleri otomatize etmek, insan gücü kullanımını azaltmak, özellikle detay çiziminde yorumu oldukça zor olan detayların ortaya çıkarılmasını sağlamaktadır. Bu amaçla yeni geliştirilmiş olan sayısal fotogrametrik stereo çalışma istasyonları ve sayısal aletler, bu alandaki önemli gelişmelerdir.

Otomatik sayısal görüntü işleme teknikleri ile desteklenmiş ya da birleştirilmiş etkileşimli sayısal görüntü işleme yöntemi, yakın gelecekte stereo fotogrametrinin temelini oluşturacaktır /3/.

(4) Uzaktan Algılama, Çok Renkli Sınıflandırma

Sayısal görüntü işlemedeki tüm alt düzey işlemler, öncelikle uzaktan algılamada gerçekleştirilmiştir. Çok bantlı (Multispectral) sınıflandırma operatör bazlı görüntü analizi ile eş anlamlı olmayıp, geometrik detay tanımlamasından çok, fiziksel tanımlamayı esas alır. Geometrik yapıda verileri içeren fotogrametrinin uzaktan algılama verileri ile tam bir bütünleşmesinin yakın bir gelecekte sağlanacağı beklenmektedir /3/.

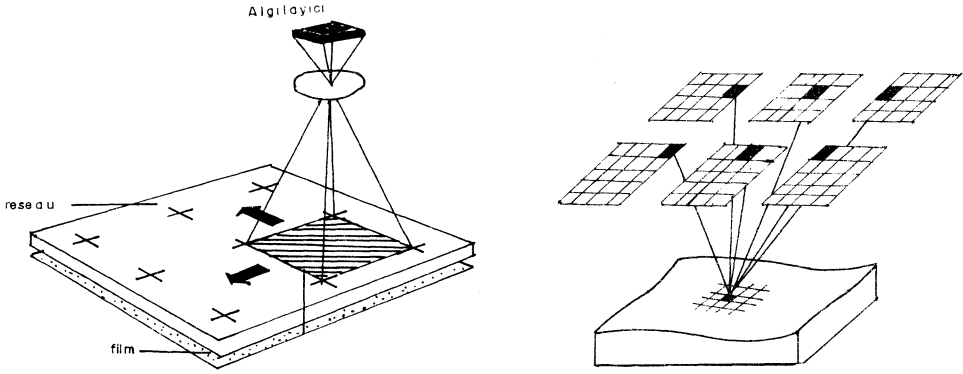
d. Algılayıcılar ve Aletlerde Meydana Gelen Gelişmeler

Bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmelerin yanında algılayıcı sistemler ve fotogrametrik alet sistemlerinin de gelişmesi, fotogrametrinin teknik açıdan gelişmesini sağlamıştır.

(1) Sayısal (Digital) Kameraların Gelişmesi

Uzaysal detayları kaydetmede kullanılan sayısal kameranın görüntü düzlemi, iki boyutlu algılayıcı alanından oluşur. Algılayıcılar belirli ara-

lıklarla alınan sinyalleri (analog sinyalleri) kaydeder. Sonra bu sinyaller sayısallaştırılarak sayısal görüntü verisi haline getirilir /9/ (Şekil-4).



Şekil-4: Sayısal kameralarda Reseau tarama işlemi

Sayısal kameralar klasik hava kameraları ile aynı yapıya sahip olup, optik mercekler, mekanik optüratör ve film olmak üzere üç ana parçadan oluşmaktadır.

Sayısal kameralarda meydana gelen önemli gelişmeler şunlardır:

- Daha iyi optik koşullar elde edilmiştir,
- Renkli ve kızılötesi resimler kullanılmaya başlanmıştır,
- Elektronik biliminde önemli gelişmeler olmuştur,
- Navigasyon desteği sağlanmıştır,
- Kameralarda görüntü yürümesini önleme sistemi (FMC: Forward Motion Compensation) sistemi kullanılmaya başlanmıştır,
- Görüntü kalitesi artmıştır /1/.

Günümüzde tamamen sayısal olan kameralar mevcuttur. CCD (Charge Coupled Device) kameralar, sayısal kameralara en iyi örnektir, ancak formatı sınırlı olup genellikle yakın mesafe fotogrametrisinde kullanılır. Bugün tüm fotogrametrik alanlarda kullanılmaya başlanmıştır /3/.

Uzaydan sayısal formda veri elde eden sistemlerden SPOT ve LANDSAT yaygın olarak kullanılmaktadır. Buna sayısal olarak elde edilen radar görüntüleri de eklenebilir. Sayısal çok bantlı tarayıcı (MSS: Multispectral Scanner) verileri de günümüzde çok fazla kullanılmaktadır.

MOMS sayısal kameralarının kullanımı ile, kolon boyunca stereo görüntü alınması ve arazide 4-5 m. ayırma güçlü veri elde edilmesi ile sayısal veri kaydında önemli gelişmeler sağlanmıştır /3/.

Sayısal kameraların klasik kameralara oranla pek çok üstün tarafları olmasına rağmen, bazı sorunları ve eksik yönleri de mevcuttur.

Sayısal kameralarda devam eden sorunlar şunlardır:

- Gereğinden fazla veri depolanır (format sorunu),
- Resim çerçeve (frame) oranı sınırlıdır,
- Pikseller çok fazla kontrastlığa (fazla ışık miktarına) sahiptir,
- Piksel boyutu maksimum 7,5 μm . x 7,5 μm . (mikron) ile sınırlıdır /2/,/3/.

Sayısal kameralarda görüntü kalitesini artırıcı bazı gelişmeler sağlanmıştır. Sayısal kameraların hassasiyetini etkileyen en önemli unsurlar; piksel boyutu, ayırma gücü ve doğruluktur.

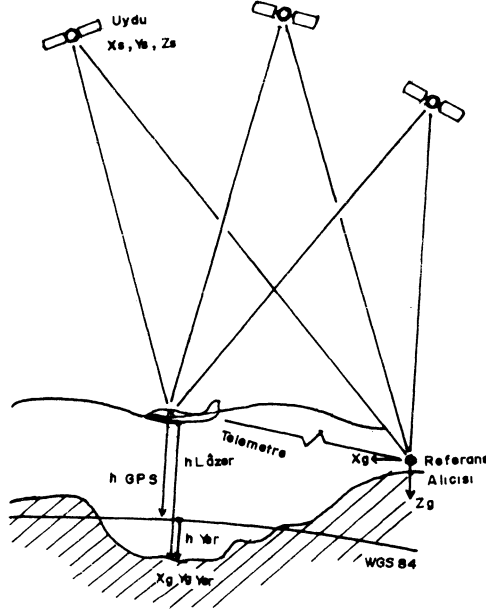
(2) Fotogrametrik Nirengide GPS Yöntemlerinin Kullanılmaya Başlanması, Kinematik GPS

Fotogrametrik nirengide gerçekleştirilen en önemli gelişme, fotogrametride GPS kullanımıdır. GPS yardımıyla hava kameraları ve algılayıcıların hassas olarak kinematik konum belirlenmesi sağlanmaktadır.

Fotogrametrik nirenginin en önemli konusu, hassas olarak resimlerin dış yöneltme parametrelerinin (X_o , Y_o , Z_o , α , ϕ , ω) belirlenmesidir. Bu parametrelerin belirlenmesi için, arazi yüzeyinde yeteri kadar kontrol noktasının tesisi gereklidir. Fotogrametrik nirengi yöntemi ile, düzgün olarak oluşturulan bloklarda fotogrametrik ölçüm ve dengeleme yöntemleri uygulanarak, fotogrametrik değerlendirme yapabilmek için yeterli sayıda nirengi noktasının arazi koordinatları (X,Y,Z) belirlenmektedir.

GPS yönteminin kullanılmasıyla, kamera konum verileri (X_o , Y_o , Z_o) çok hassas olarak belirlenmekte, bu durumda her bir resme ilişkin 6 dış yöneltme parametresinden 3 tanesi çözülmekte, bunun sonucunda da geriye kalan bilinmeyenlerin çözümü için daha az sayıda kontrol noktasının arazide tesisi ne gerek duyulmaktadır. Böylece fotogrametrik nirengide önemli ölçüde ekonomiklik ve hız sağlanmaktadır /10/.

Kinematik GPS'in temel prensibi; arazide bulunan bir GPS alıcısı ve uçakta bulunan GPS anten ve alıcısı yardımı ile en az dört uyduya yapılan GPS ölçümleri sonucunda, hareket halindeki uçakta resim çekimi işlemini gerçekleştiren kameranın konumunun belirlenmesidir. Böylece, düzgün olan büyük bloklarda dört veya altı noktanın hesaplanması ve kireçlenmesi sonucu, oluşan fotogrametrik blokların dengelenmesi olanaklı hale gelmiştir /10/ (Şekil-5).



Şekil-5: Fotogrametrik nirengide GPS uygulaması

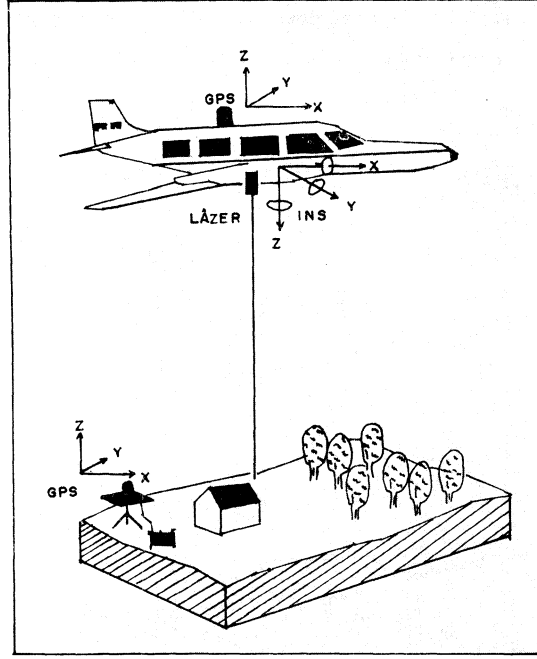
GPS ile ilgili pek çok ülkede yapılan test çalışmalarında, oldukça hassas sonuçlar elde edilmiştir /10/.

GPS destekli fotogrametrik nirengi ve blok dengelemelerinin yakın bir gelecekte fotogrametride yaygın olarak kullanılacağı sanılmaktadır /1/, /2/, /3/.

(3) Lâzer Profillemeye Yöntemlerinin Geliştirilmesi

Lâzer profillemeye (laser profiling) sistemleri, araziye ilişkin doğrudan sayısal yükseklik modeli (DEM) verileri toplayan sistemlerdir.

Uçakta taşınan (Airborne) lâzer profilleme sistemi, bir GPS alıcısı ve bir inersiyel navigasyon sisteminin (INS) birleşmesinden oluşan, pulslu lâzer uzaklık bulucu sistemidir. Bu sistemler uçağa monte edilmiştir(Şekil-6).



Şekil-6: Uçakta taşınan (Airborne) lâzer profillemenin temel prensibi

Sistemle ölçüm şöyle yapılır:

- GPS, lâzer sisteminin ölçüm anındaki konumunu tesbit eder,
- INS sistemi, referans koordinat sistemine göre konum açılarını ölçer,
- Lâzer uzaklık bulucusu ise, uçak ile yeryüzü arasındaki uzunluğu ölçer.

Bu işlemler sonucunda, bilinen başlangıç noktasından itibaren doğrusal uzunluk bulunur ve yeryüzü üzerindeki noktaların üç boyutlu koordinatları doğrudan belirlenebilir. Sistemin temel amacı, fotogrametrik yöntemlerin başarısız olduğu alanlarda, örneğin yoğun bitki örtüsü ile veya karla-buzla kaplı alanlarda, araziye ilişkin DEM verilerinin elde edilmesini sağlamaktır. Ancak sistem pahalı ve oldukça yavaştır /1/.

Sistemin kullanım yerleri şu şekilde özetlenebilir:

- Ormanlık alanlar (stereo görüşün olmadığı bölgeler),
- Kıyı şeridi ve nemli arazi (bataklık gibi) alanları,
- Mineral yataklarının saptanması amacı ile açılmış alanlar,
- Sayısal arazi modelinin yalnızca bir hat boyunca planlandığı alanlar (cadde, anayol, demiryolu, boru hatları ve elektrik hatları gibi) /2/.

Yöntemin işlem adımları şunlardır:

- Uçakta taşınan (Airborne) lzer sistemi ile uzunluk lşm (lzer uzaklık ölçen alet ile),
- Algılayıcı yöneltmesi (INS platformları ve GPS konum belirleme aletleri ile),
- GPS ve INS sistemlerinin bütünleşmesi, uyuşumunun sağlanması,
- Uak navigasyonu (GPS destekli navigasyonla profiller boyunca veri toplama),
- Sistemin kalibrasyonu (aletler arasındaki ilişkilerin arazi koordinat sistemine göre saptanması),
- Lzer noktalarının analizi ve DTM'lerin türetilmesi /2/.

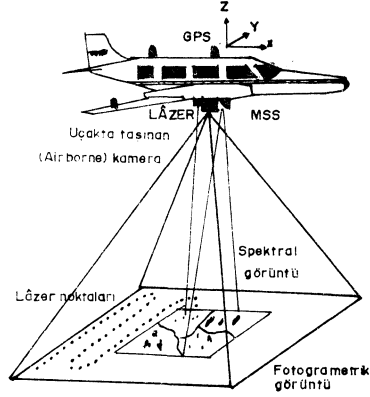
Bu sistemle maksimum 10 km'ye kadar olan uzaklık llebilir. Test uçuşlarında ortalama 0,07.lik mesafe doğruluğu elde edilmiştir. Bir profil boyunca ölçülen nokta konum doğruluğu ise 1,8 m. civarındadır /2/.

Elde edilecek DEM'in doğruluğunu etkileyen en önemli faktör, arazi yzeinin engebe durumuna bağlı olan profiller arası uzunluktur. Buna karşın, profil noktalarının yükseklik doğruluğu daha az öneme sahiptir /2/.

Özellikle ağaç gölgeleri nedeniyle görülemeyen yerlere girebilmesi, tamamen sayısal veri toplanarak değerlendirilmesi amaçlarıyla, bu sistem özellikle yüksek doğruluklu topografik yüzey ölçümlerinde rahatlıkla kullanılabilir /2/.

(4) Uydu Tarayıcı (Scanner) Sistemlerindeki Gelişmeler

Bu yöntem (uzaysal tarama) tematik uygulamalar ve özel veriler elde etmek için uygun olmasına rağmen, topografik uygulamalara yönelik önemli de-nemeler ve çalışmalar pek yapılmamıştır. Uçağa yerleştirilen sayısal detay tarama (digital object scanning) aletleri ile ancak bazı özel uygulamalar ve özel ölçümler yapılabilmiştir. Bu tür sistemler, sayısal kamera sistemlerine çok benzetilmektedir /1/, (şekil-7).



Şekil-7: Sayısal harita yapımında kullanılan örnek bir algılayıcı sistemi

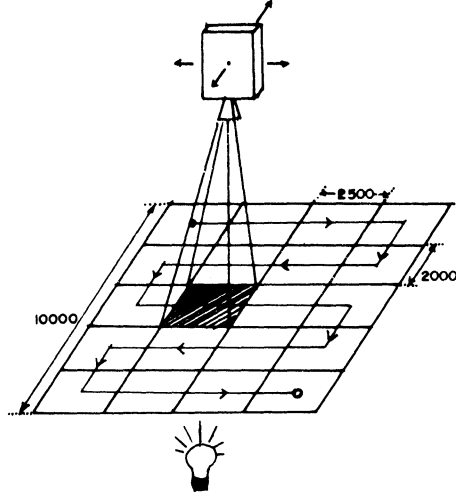
(5) Fotoğrafların Sayısallaştırılması, Resim Tarayıcı (Photo Scanner) Sistemlerindeki Gelişmeler

Sayısal görüntüler, sayısal fotogrametrinin temelini oluşturur. Son zamanlarda fotogrametrinin isteklerine yanıt veren, yüksek ayırma güçlü ve geometrik doğruluğu oldukça iyi olan resim tarayıcıları geliştirilmiştir. Ancak resim tarayıcı verileriyle, otomatik korelasyon ve fotogrametrik ni-rengi işleminin yapılması halinde, hassas sonuçların elde edilmesi zordur /3/, (Şekil-8).

Sayısal fotogrametrik amaçlı bir resim tarayıcıda aranan temel özellikler şunlardır:

- Geometrik ayırma gücü 10 mikron düzeyinde olmalıdır,
- Radyometrik ayırma gücü olarak 256 gri seviyesi ile 8 bitlik kodlama yapabilmelidir,
- Tarama (Scanning) formatı 23 cm x 23 cm olmalıdır,
- Geometrik doğruluk ve incelik tüm resim alanı için bir pikselden az olmalıdır,
- Fotogrametrik işlemler için uygun olmalıdır (Sistem, köşe-kenar markalarını otomatik bulabilmelidir).

- Fiyatı uygun olmalıdır,
- Hızlı olmalıdır /2/, /3/.



Şekil-8: Resim tarayıcıda tarama (scanning) işleminin temel prensibi

(6) Sayısal Aletler (Digital Plotter), Sayısal Fotogrametrik Stereo Çalışma İstasyonlarındaki Gelişmeler

Fotogrametride en son geliştirilen aletler, sayısal fotogrametrik stereo çalışma istasyonlarıdır. Yakın bir gelecekte sayısal fotogrametri aletlerinin analitik alet sistemlerinin yerini alacağı beklenmektedir. Ancak bunun için, bu aletlerin analitik aletlerin sahip olduğu olanaklara sahip olması ve aynı işleri yapabilmesi, ayrıca sayısal görüntü işleme fonksiyonuna sahip olması gerekmektedir /7/.

Sayısal fotogrametrik çalışma istasyonlarında yapılabilecek işlemler ve elde edilebilecek ürünler şunlardır:

- Sayısal veya sayısallaştırılmış verilerin sisteme alınması,
- Fotogrametrik yöneltmelerin yapılması,
- Fotogrametrik nirengi işlemleri (görüntü çakıştırma yöntemi ile)
- Görüntü zenginleştirme, filtreleme ve temel sayısal görüntü işleme yöntemlerinin uygulanması,

- Fotograf görüntüsü üzerinden sayısallaştırma yapılması (Detay verisi toplama),
- DTM verisi toplama (görüntü çakıştırma yöntemi ile veya manuel olarak),
- Sayısal ortofoto harita ve ortofoto mozaikleri üretme (Diferansiyel yataylama yöntemi ile),
- Sayısal veya grafik çıktı alımı /3/.

Bu aletler stereo görüntü kullanabilme özelliğine sahiptir, ancak analitik aletlerde olduğu gibi, sürekli stereo çalışma yapılması oldukça zordur. Genellikle stereo ortofoto üretiminde çok sık kullanılan bu aletler, sürekli gelişme göstermektedirler /3/, /4/.

Genel olarak gelişmiş bir sayısal fotogrametrik stereo çalışma istasyonunda aşağıdaki yazılımların bulunması uygundur:

- Stereo görüntüleme yazılımı,
- Sayısal (digital) yöneltme yazılımları,
- Fotogrametrik yönetim (management) yazılımı,
- Veri toplama yazılımı,
- Fotogrametrik nirengi ölçüm yazılımı (oto-korelasyon yöntemiyle),
- DTM verisi toplama yazılımı (oto-korelasyon yöntemiyle).

Sayısal fotogrametrik stereo çalışma istasyonlarında görüntüleme iki şekilde sağlanır:

- Görüntü sabit, cursor hareketli (Kolay olan yöntemdir.),
- Görüntü hareketli, cursor sabit (Zor olan yöntemdir).

Sayısal stereo görüntüleri stereoskopik olarak gözleme yöntemleri:

- Polarizasyon gözlükleri ile (polarizasyon yöntemi),
- Likid kristal shutter (LCS) gözlükleri ile (senkronizasyon yöntemi).

Sayısal (digital) sistemlerde mevcut, hala çözülmemiş olan sorunlar şunlardır:

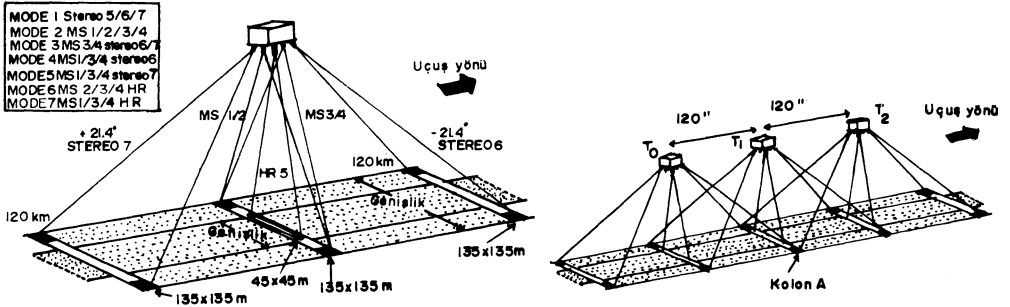
- Sayısal görüntünün parlaklık-kontrastlık açısından fotoğraflara ve insan gözüne oranla inandırıcılığı daha azdır,
- Görüntülerdeki yansıma ve bozukluklar, yorumlamada hatalara yol açar,
- Görüş alanında ekrandaki ayırma gücü, analitik aletlerdeki aynı görüş alanının ayırma gücüne oranla 25 misli daha azdır /3/.

Sayısal fotogrametrik stereo çalışma istasyonlarının uygun koşulları sağladığı takdirde, yakın gelecekte harita güncelleştirme, DTM verisi toplama ve ortofoto üretiminde yaygın bir şekilde kullanılabileceği beklenmektedir.

(7) Algılayıcı (Sensör) Sistemindeki Gelişmeler

Algılayıcı sistemlerdeki gelişmeler şöyle özetlenebilir:

- İlk yardımcı veri kaynakları (Jireskop, APR, statoskop, radyo konumlama gibi),
- Çok bantlı tarayıcılar (Detay sınıflaması için kullanılan doğruluğu oldukça az ve yorumlaması kolay sistemlerdir),
- Havada taşınan (Airborne) lâzer profillemesi sistemi (DEM üretimi için kullanılır),
- MOMS-02 algılayıcıları (Fotogrametrik amaçlı, yüksek ayırma güçlü stereo tarayıcılar olup, çok bantlı görüntü verilerini birleştirir), (Şekil-9),
- Lâzer görüntüleme sistemleri (Imaging laser) (Spektral yoğunluklarla uzaklık bilgisini birleştirir),
- Lâzer uzaklık ölçerleri (Uzaklık ölçen sistemlerdir), /3/.



Şekil-9: MOMS-02 algılayıcı sisteminin stereo görüntüleme prensibi

Lâzerli sistemler henüz gelişme aşamasında olup yakın gelecekte daha sık kullanımı düşünülmektedir. Lâzer görüntüleme aleti ile yeryüzünün ölçülen kısmının gri değerleri ile arazi yüzeyine olan uzaklıklar belirlenir.

Bunun sonucunda arazi yüzeyindeki noktaların koordinatları ve spektral özellikleri doğrudan bulunabilir. Algılayıcı platformlarının konumu ve dış yöneltme elemanları, GPS yöntemi ile belirlenir.

Lâzer uzaklık bulucularının temel amacı, görüntü yataylaması için doğru bir DEM modeli elde etmek ve haritalarda üçüncü boyutu göstermektir.

Algılayıcı kullanımı, sayısal görüntü işlemedeki bozuklukları giderici rol oynamaktadır. Özellikle hava kameralarını destekleyen algılayıcı sistemler kullanılmaktadır. Hareket halindeki uçağın konum verileri ise, kinematik GPS yöntemiyle belirlenir.

MOMS-02 stereo görüntü algılayıcı sisteminin özellikleri şunlardır:

- Üç adet stereo bilgiyi aynı anda tutar,
- Uçuş süresince kolon boyunca stereo görüş sağlar,
- Yüksek ayırma güçlü görüntü elde etme olanağına sahiptir,
- Çok bantlı görüntü alma olanağı mevcuttur,
- Stereo görüntü alma ve çok bantlı görüntüleri birleştirme yeteneğine sahiptir. (Bu amaçla sistemin 5 merceği mevcuttur, bunlardan 3 tanesi stereo görüntü, 2 tanesi çok bantlı görüntü alabilmektedir) /3/.

e. Fotogrametrik Olarak Geliştirilen Diğer Yöntemler

(1) Sayısal Fotogrametride Nokta Tespiti (Otomatik Fotogrametrik Nirengi)

Yakın bir gelecekte, sayısal fotogrametri aletleri ve yöntemlerinin yaygın olarak kullanılmaya başlaması ile, otomatik olarak nokta transferi ve nokta ölçümüne dayalı olarak, otomatik fotogrametrik nirengi sonuçları hassas GPS kamera konum verileriyle birleştirilerek, daha duyarlı fotogrametrik nirengi sonuçları elde edilebilecektir /4/.

Bu yöntemde kullanılan noktalar, işaretli (kireçli) veya iyi tanınan detay noktalarıdır. Otomatik fotogrametrik nirengide iki ön koşul vardır:

- Algılanan sinyaller bir obje düzleminde bulunur,
- Görüntü düzlemi yer (obje) düzlemine paraleldir /4/.

Bu koşullar sağlanırsa, sinyaller (yani pikseller) yaklaşık aynı boyutlu olur ve çok fazla deforme olmazlar.

Operatör önce ekrandan noktanın yaklaşık konumunu tespit eder. Daha sonra yaklaşık olarak saptanan görüntü koordinatları yardımı ile her resme ait dış yöneltme elemanları yaklaşık olarak belirlenir, merkezi izdüşüm sayısal görüntülere uygulanır. Ancak burada noktaların görüntü üzerinde ölçülen koordinatları, 6 parametrelili Afin Dönüşümü veya 4 parametrelili Benzerlik Dönüşümü kullanılarak düzeltilir. Son aşamada, belirlenen bu noktalarla ışın demetleriyle blok dengelemesi yapılarak görüntü noktalarına gerekli düzeltmeler getirilir. Böylece sayısal fotogrametrik nirengi ile, piksel koordinatları bilinen noktaların görüntü koordinatları belirlenmiş olur /4/.

(2) Sayısal Haritalardan Coğrafi Bilgi Sistemine (GIS) Geçiş

Fotogrametride, bugün sadece çizgisel (grafik) harita yapmak temel amaç değildir. Sayısal veri tabanlarının oluşturulması sonucunda, GIS veri tabanları da oluşturulmaya başlanmıştır. Haritayı oluşturan grafik (çizgisel) verilerin yanında, bazı tematik bilgilerin de topografik altlıklarda birleştirilmesi konusunda gelişmeler sağlanmıştır. Sayısal harita yapımı, sayısal bilgi elde edilmesi ve DEM verilerinin kullanılmaya başlaması ile, GIS'in daha geniş veri tabanlarından oluşması gerektiği fikri yaygınlaşmıştır /2/.

Toplanan sayısal veriler GIS veri tabanları içine alınarak, daha etkili kullanımı olanaklı hale gelmiştir.

(3) Görüntü İşleme (Image Processing), Görüntü Analizi (Image Analysis), Görüntü Anlama (Image Understanding)

Sayısal görüntü işleme hala yoğun olarak araştırılan konulardan birisidir. Sayısal görüntü işlemede en önemli sorun, raster formattaki sayısal verilerin çok fazla yer kaplamasıdır (Giga Byte'lar düzeyinde).

Son zamanlarda sayısal görüntülerden otomatik olarak detay tanıma ve detay belirleme (data extraction) konusunda yapılan çalışma ve uygulamaların başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir.

Temel sayısal görüntü işleme uygulamaları şunlardır:

- Görüntü anlama (Image Understanding),
- Görüntü yorumlama (Image Interpretation),
- Detay tanıma (Object Recognition, Pattern Recognition),
- Detay çıkarma (Feature Extraction),
- Detay sınıflama (Feature Classification) /9/.

Görüntü anlama; görüntünün tamamının yorumlanmasıdır. Detayı tanıma, görüntü anlamının bir alt konusudur.

Detay tanıma; verilerin geometrik anlam ve yapılarını, birbiri ile olan ilişkilerini ve tüm diğer anlamlarını ortaya çıkarma işlemidir.

Detay tanıma (recognition) işlemi genelde görüntülerden çıkarılan bilgilerle bir veri kütüphanesinde mevcut bilgilerin veri modellerinin karşılaştırılması işlemidir. Bu işlem için geliştirilmiş yöntemler mevcuttur.

Detay tanıma uygulanan işlem adımları şunlardır:

- Model bazlı bir detay kütüphanesi oluşturulması,
- Görüntülerden detayların çıkarılması (data extraction),
- Model bazlı yapıdan verilen detay özelliklerine uygun olarak detayların seçimi (indexing) işlemi,
- Veri özellikleri ile detay özellikleri arasında ilişki kurulması (ilişkilendirme sorunu),
- Kontrol için, detayı görüntüye dönüştürerek, verilerdeki detay örneklerini bulma (hipotez ve test problemi) /2/, /3/.

Detay çıkarma işlemi sayısal görüntü işlemenin en önemli konusu olup, görüntüden detay çıkarmak için geliştirilmiş pekçok yöntem vardır (Edge detection, region segmentation, feature detection gibi) /9/.

(4) Gerçek Zamanlı (Real-Time) Fotogrametri Konusundaki Gelişmeler

Gerçek zamanlı fotogrametri, özellikle sayısal kameraların kullanılmaya başlamasıyla (özellikle CCD kameralar) önem kazanmıştır. Gerçek zamanlı fotogrametrinin tanımına ve amacına en uygun yaklaşım, sayısal kameralardır /3/.

Analitik fotogrametri ile aynı veya daha yüksek doğruluk elde etmek için, kamera ölçüm düzleminde yerleştirilen piksel boyutlarının küçük (birkaç mikronda) olması uygundur /4/.

Görüntü oluşturma ve sonuç ürün elde etme arasındaki zaman çok kısa ise, bu takdirde büyük piksel boyutlarının kullanılması uygun olabilir. Bu durumda, gerçek zamanlı fotogrametrinin kullanımından söz edilebilir /4/.

Gerçek zamanlı fotogrametri uygulamalarında en çok Peseau kameralar kullanılır. Gerçek zamanlı fotogrametri, sayısal fotogrametrinin bir alt bölümü olarak düşünülebilir.

(5) Endüstriyel Alanlarda Fotogrametrinin Kullanımı

Fotogrametrik sistemler, endüstriyel alanlarda, özellikle görüntü işleme yöntemleri ile otomatik yüzey oluşturulmasında da kullanılır. Örneğin çeşitli araba modellerinin oluşturulmasında, araba yüzeylerinin biçimlerinin çeşitli yüzey ölçmeleriyle belirlenmesinde, sayısal yükseklik modellerinin kullanılması oldukça uygundur /2/.

Son yıllarda geliştirilen sayısal kameraların topografik uygulamalardan çok endüstriyel alanlarda kullanılabileceği belirtilmektedir /3/.

Genellikle fotogrametrik yöntemle yapılan yüzey ölçmeleri sonucunda, yüzeylere ilişkin deformasyon bilgileri de elde edilebilmektedir.

(6) Sayısal Ortofoto, Sayısal Ortofoto Harita ve Mozaiklerinin Üretimi

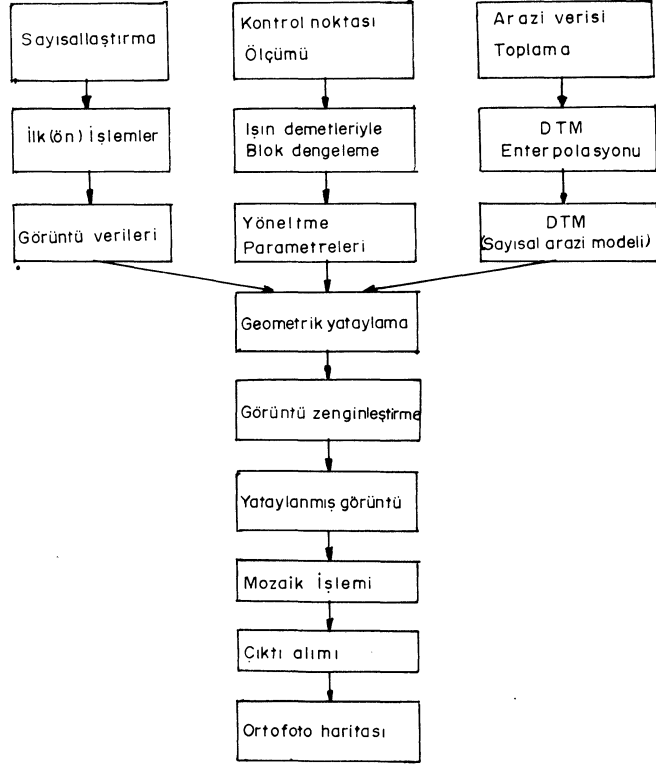
Sayısal ortofoto, sayısallaştırılmış hava fotoğrafı verilerini kullanarak, resim çekim anındaki kamera eğikliği (tilt) ve yükseklik farklarından oluşan hataları (relief displacement) gidermek suretiyle yeni bir sayısal görüntünün elde edilmesi yöntemidir.

Sayısal ortofoto üretiminin safhaları şunlardır:

- Hava fotoğraflarının elde edilmesi,
- Hava fotoğraflarının taranması (minimum 10 m.de), veri girişi,
- Yöneltilme işlemleri (iç yöneltilme, dış yöneltilme),
- Geometrik düzeltme (Rectification, yataylama),
- Radyometrik düzeltme (iyi bir görüntü elde edilmesi işlemi),
- Mozaik işlemi (ortofoto görüntülerinin birleştirilmesi),
- Çıktı alımı (raster formatta) /3/, (Şekil-10).

Geometrik Düzeltme; Klasik ortofotodaki yataylama işleminin aynısı olup, piksel-piksel resim eğiklikleri ve yükseklik farklarından meydana gelen haritaların düzeltilmesidir. Bu amaçla araziye ilişkin DEM verileri kullanılır. Sayısal ortofotonun doğruluğu DEM verilerinin hassasiyetine bağlıdır. Sonuç ürünlerde bir piksellik hatanın varlığı normal karşılanmaktadır /3/, (Şekil-11, Şekil-12).

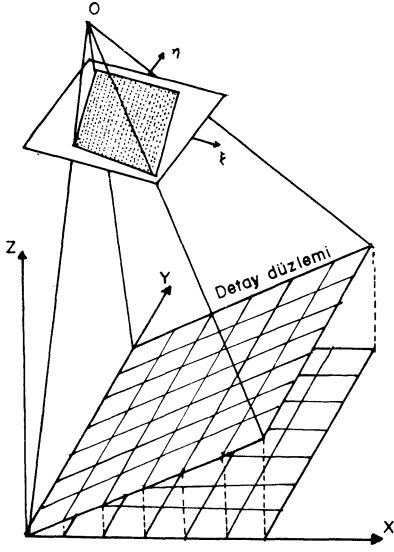
Radyometrik Düzeltme; Komşu ortofotolar arasında meydana gelen aşırı renk ton farklılıklarının giderilmesi ve ortofotoların birleştirilmesi (mosaicking) için uygun koşulların sağlanmasıdır.



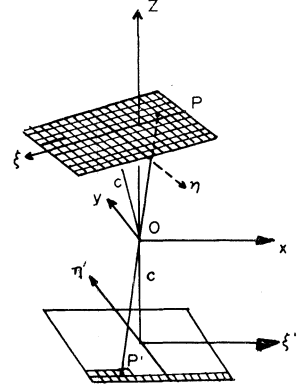
Şekil-10: Sayısal ortofoto harita üretimi işlem adımları

Mozaik işlemi; Geometrik ve radyometrik düzeltmeleri yapılmış sayısal ortofoto görüntülerinin yalnızca bindirmeli olan bölümlerinin kullanılarak birleştirilmesi işlemidir.

Sayısal ortofoto; yer kodlu (geocoded), renk kombinasyonlu, çok zamanlı, çok ölçekli, çok bantlı (multispectral), uzaktan algılamaya uyumlu, çeşitli hesaplamalar (alan, hacim gibi) yapılmasına ve üç boyutlu modellemeye uygun görüntülerdir. Özellikle renkli sayısal ortofotolar daha fazla detay bilgisi içerir, GIS amaçları için oldukça uygundur. Çünkü raster-vektör kombinasyonu olanaklıdır. Bu nedenle, bütün düzeltmeleri yapılmış sayısal ortofoto ürünleri, GIS amaçlı veri toplamada yaygın şekilde kullanılabilir /3/, (Şekil-13).



Şekil-11: Yataylama (Rectification, Düzeyleme)



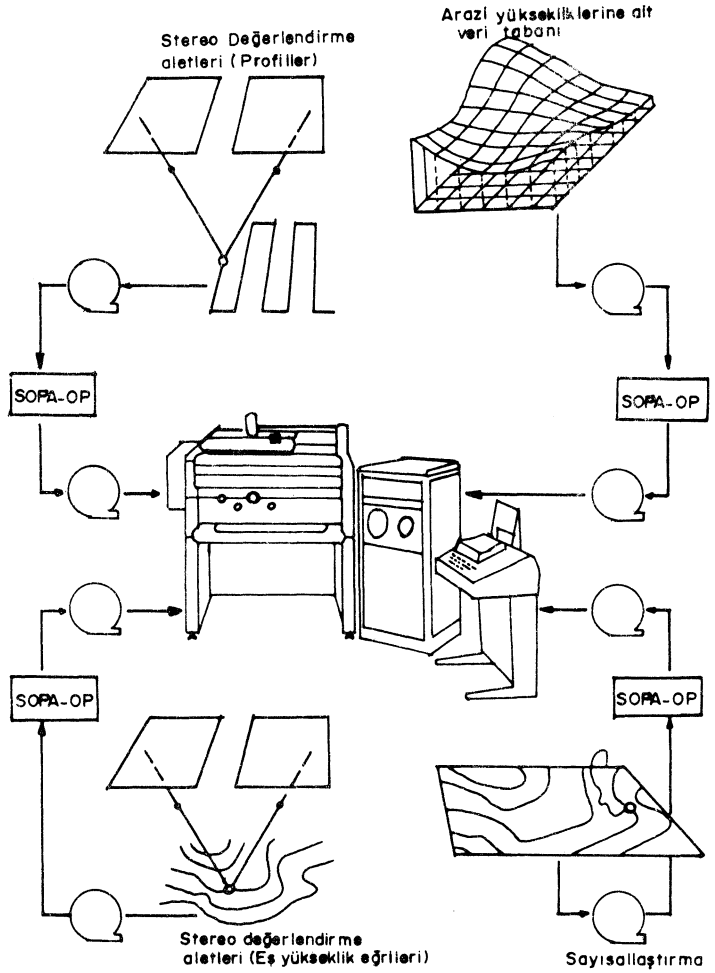
Şekil-12: Sayısal orijinal görüntü ve sayısal olarak yataylanmış görüntü ilişkisi

Sayısal ortofoto ürünlerinin kullanım alanları şöyle özetlenebilir:

- Ortofoto mozaiklerinin üretimi,
- Ortofoto haritalarının yapılması,
- İki boyutlu çizim (monoplotting) işlemleri,
- Raster formattaki ortofoto haritaları ve mozaiklerinin bir altlık gibi kullanılarak vektörel olarak sayısallaştırma yapılması,
- Harita güncelleştirme,
- Harita bütünleme çalışması,
- GIS amaçlı veri elde edilmesi /4/.

Sayısal ortofotonun klasik ortofotoya oranla üstünlükleri şunlardır:

- Sayısal görüntü işleme teknikleri kullanılır,



Şekil-13: Diferansiyel yataylama için kullanılan veri kaynakları

- Yüksek geometri, kalite ve doğrulukta ortofoto üretimi mümkündür,
- Ortofoto yataylaması için hesaplama zamanı oldukça kısadır, (Piksel-piksel veya grid ağına bağlı yataylama yapıldığından)
- Sayısal ortofoto verileri GIS için uygun veri kaynağıdır /3/.

Sayısal ortofotoda halen devam eden sorunlar şunlardır:

- Giriş-çıkış (çevre) birimleri çok pahalıdır (Maliyet sorunu),
- Çok büyük boyutlu verilerle uğraşılmaktadır (Bilgisayar kapasitesi sorunu),
- Büyük ölçekli uygulamalarda DTM verileri çok hassas sonuçlar vermektedir (Bazı yükseklik hataları mevcuttur).
- Geometrik yapıda bazı sorunlar mevcut olup, bazı detayların (köprü, ağaç, ormanlık, alçak ve yüksek binalar gibi) yükseklik değerleri iyi tanımlanamamaktadır.
- Radyometrik sorunlar tam çözülebilmemiş değildir, Görüntü üzerindeki kontrastlık nedeniyle mozaik işlemlerinin istenilen sonucu vermediği anlaşılmıştır. Bu sorun sayısal görüntü işleme tekniklerinin istenilen düzeye ulaşmasıyla çözülebilir /3/.

(7) Uydu Görüntü Çiftlerinden (Spot Gibi) Yararlanarak Orta Ölçekli (1/50 000, 1/100 000 Gibi) Topografik Harita Üretimi

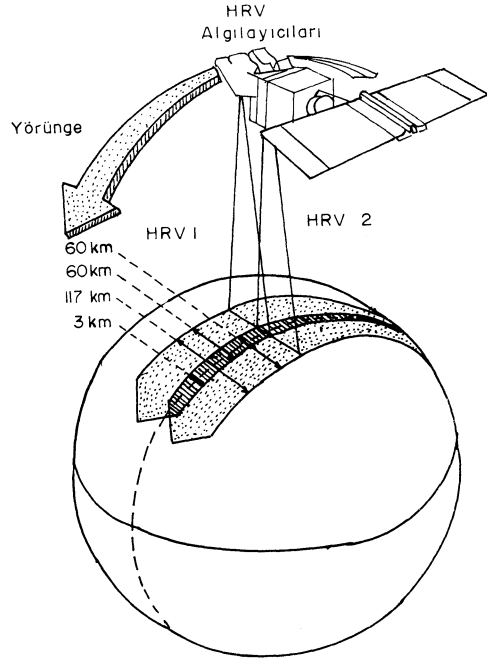
Stereoskopik olarak çekilen uydu görüntü çiftlerinden (SPOT gibi) yararlanılarak, özellikle 1/50 000-1/100 000 ölçekli topografik haritaların üretimi olanaklıdır. Bu amaçla analitik fotogrametri aletleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Harita yapımında kullanılacak görüntülerde sis, pus gibi bozucu etkilerin olmaması, uygun mevsim koşullarında alınmış olması, görüntü çiftleri arasında çok fazla zaman farkı olmaması, kullanılan görüntülerin geometrik ve radyometrik düzeltmelerinin yapılmış olması analitik kıymetlendirmenin hassasiyetini arttırmaktadır (Şekil-14, Şekil-15).

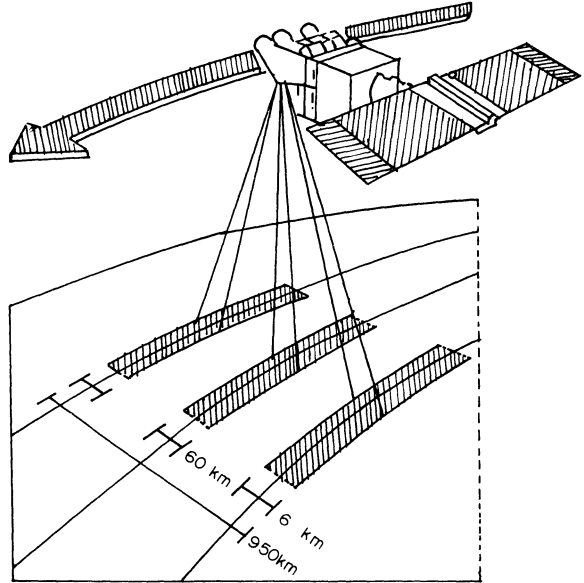
(8) Uydu Görüntü Çiftleri (Spot Gibi) Yardımıyla Fotogrametrik Nirengi İşleminin Yapılması

Aynı bölgeye ait değişik zamanlarda alınan uydu görüntülerinin oluşturduğu görüntü çiftleri (yaklaşık olarak %90 bindirmeli) kullanılarak fotogrametrik nirengi işleminin yapılabileceği kanıtlanmıştır (OEEPE test çalışması, Organisation Europeen d'Etudes Photogrammetriques Experimentale, Avrupa Deneysel Fotogrametrik Çalışmalar Birliği).

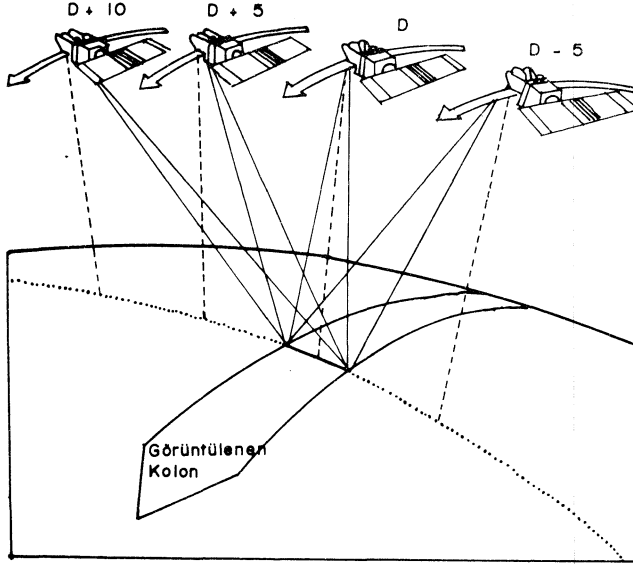
Uydu görüntü çiftleri yardımıyla fotogrametrik nirengi işleminin yapılmasının temel amacı; çok büyük bölgelerin aynı anda hızlı ve ekonomik olarak orta ölçekli topografik haritalarının (1/50 000 ve 1/100 000 gibi) yapılmasını sağlamaktır (Şekil-16).



Şekil-14: SPOT uydusunun görüntüleme alanı



Şekil-15: SPOT'un bir algılayıcısının görüntüleme alanı



Şekil-16: SPOT uydusunun görüntü yineleme olanağı

(9) Görüntü Korelasyonu (Image Correlation) Yöntemiyle Sayısal Verilerden DEM (Digital Elevation Model) verilerinin Elde Edilmesi

Bu amaçla sayısal hava fotoğrafları kullanılır. Tam otomatik veri elde etmek için, görüntülerin yöneltme bilgileri, önceden yapılmış fotogrametrik nirengi sonuçlarından alınabilir veya doğrudan sayısal görüntü üzerinde yöneltme işlemleri yapılabilir /4/.

DEM verilerinin kullanım alanları şunlardır:

- Ortofoto haritaların yapımı,
- Eş yükseklik eğrisi haritalarının yapımı,
- Perspektif görüşlerin elde edilmesi.

DEM verisinin elde edilebilmesi için, öncelikle tarayıcıda sayısallaştırılmış sayısal verilere gerek vardır. Bu sayısal görüntülerin kullanılabilmesi için ise, sayısal fotogrametrik stereo çalışma istasyonlarına gereksinim vardır.

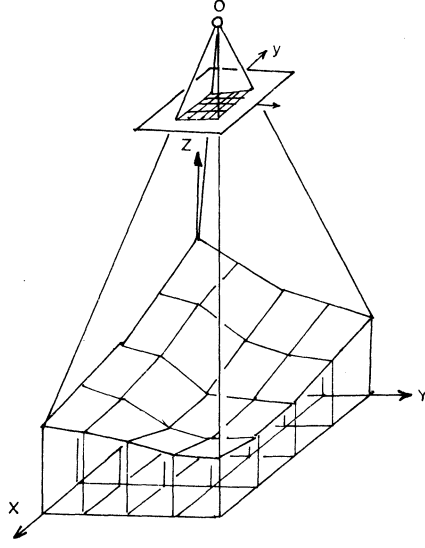
Otomatik DEM üretiminde işlem adımları şunlardır:

- Alette uygun parametre takımlarının seçilmesi, programın çalıştırılması,
- Görüntü çiftlerinin yöneltilmesi;
 - İç yöneltme,
 - Dış yöneltme,
- Fotogrametrik nirengi parametrelerinin girilmesi,
- DEM verilerinin hesaplanması,
- Görüntü verilerinde ilk işlemlerin yapılması (geometrik ve radyometrik görüntü düzeltmesi),
- DEM verilerinin genelleştirmesi işlemleri,
- DEM verilerinin analizi,
- DEM verilerinin işlenmesi, editleme yapılması,
- ASCII formatta DEM verileri çıktısının alınması /3/,/4/.

Dış yöneltmede yöneltme verileri, iki resim için demeti yöneltilmesi yapılarak bulunur ve yöneltme verileri depolanır. Yöneltme işlemi yöneltme parametreleri için başlangıç değerleri olmaksızın yapılır. Kontrol noktalarının görüntü koordinatlarının ölçümünde, sistematik hataların (yer küreselliği, atmosferik kırılma, mercek distorsiyonu gibi) giderilmesine çalışılır. İlk iki yer kontrol noktası görüntü üzerinde manuel olarak tanımlandıktan sonra, diğer noktalara otomatik olarak gidilir /4/.

Yöneltmelerden sonra, görüntüler normalleştirme (klasikteki yataylama) işlemine tabi tutulurlar. DEM genelleştirmesinde ise, iki görüntüye ait eşlenik (homolog) noktaların karşılaştırılması ve otomatik olarak ölçülen üç boyutlu noktalardan DEM grid noktalarının tespit edilmesi işlemleri yapılır. Daha sonra DEM analizi yapılarak bazı istatistik verileri elde edilir. DEM verilerinin editlenmesi aşamasında, hatalı bölgelere ilişkin veriler düzeltilir ve son aşamada ASCII formatta çıktı alınır /4/, (Şekil-17).

Genellikle otomatik DEM verisi toplama doğruluğu, uçuş yüksekliğinin binde biri kadardır. Klasik enterpolasyon işlemleri için, bir modelde yaklaşık 1000-5000 arasında nokta ölçümü yapılır. Düzenli DEM gridlerinin ölçümünde bu sayı 10000-20000 arasında değişir. Görüntü korelasyonu ile elde edilen DEM verilerindeki üç boyutlu bozuklukların giderilmesi oldukça zordur. Bu yöntemde kırık hatların (breakline) önceden tanımlanması büyük önem taşıyor /3/.



Şekil-17: Harita ve resimdeki düzenli gridler arasındaki ilişki

Bu yöntemle açık alanlarda iyi sonuçlar elde edilmesine karşın, ormanlık, çok engebeli arazi ve yoğun yerleşim alanlarında daha düşük doğrulukta sonuçlar elde edilebilmektedir /3/.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

a. Analitik fotogrametrik nirengi, klasik DEM verilerinin üretimi, analitik aletler ve ortoprojektörler gelişmesini tamamlamış olup, halen başarıyla kullanılmaktadır.

b. Fotogrametrik nirengi işlemlerinde GPS yöntemleri ile, oldukça hassas sonuçlar elde edildiği anlaşılmaktadır. Fotogrametride GPS kullanımı ve GPS destekli blok dengelemelerin yapılması, kontrol noktalarının sayısını önemli ölçüde azaltabilecektir.

c. Grafik (analog) veri üretilmesi yerine, hızla sayısal verilerin üretilmesine geçilmesi yararlıdır. Bu amaçla sayısal veri üreten fotogrametrik aletlere (analitik aletler, sayısal çıkışlı hale getirilmiş analog aletler) ağırlık verilmesi uygundur.

d. Sayısal görüntü işleme sürekli gelişen bir konu olduğundan sürekli izlenmesi yararlıdır.

e. Çeşitli algılayıcı sistemlerdeki (sayısal kameralar, lâzer profilleme sistemleri, algılayıcılar, uydu tarayıcı sistemleri gibi) gelişmelerin istenilen doğruluğa ulaşınca kadar sürekli izlenmesi yararlıdır.

f. Özellikle sayısal fotogrametrik stereo çalışma istasyonlarının dikkatle izlenmesi, amaca uygunluk, doğruluk, verim artışı gibi konular gözönüne alınarak bu sistemlere doğru geçişin sağlanması yararlı görülmektedir.

g. Amaca uygun yüksek hassasiyetli resim tarayıcılar geliştirilmiştir.

h. SPOT uydu görüntü çiftlerinden yararlanarak orta ölçekli harita yapımı gerçekleştirilmiştir.

ı. Sayısal fotogrametrik uygulamalar (sayısal görüntülerde DEM üretimi, otomatik fotogrametrik nirengi gibi) dikkat çekici niteliktedir.

j. Sayısal ortofoto ve DEM verisi üretimi, özellikle GIS çalışmaları için uygun koşulları sağlamaktadır.

k. Klasik hava kameralarında da önemli gelişmeler (FMC sistemi gibi) meydana gelmiştir.

1. GPS destekli uçuş navigasyonu, istenen herhangi bir noktada resim çekimi (pin-point fotoğraf alımı) gibi önemli gelişmeler mevcut olup, bu tip kamera ve sistemlerinin kullanımına yönelmek uygundur.

K A Y N A K L A R

- /1/ : 41. Photogrammetric Week, Stuttgart University, September, 14-19 1987, Stuttgart, 1987.
- /2/ : 43. Photogrammetric Week, Stuttgart University, September, 9-14 1991, Stuttgart 1991.
- /3/ Fritsch, D., : Photogrammetric Week '93, Karlsruhe, 1993.
Hobbie, D.
- /4/ Kraus, K. : Photogrammetry, Bonn, 1991.
- /5/ : ISPRS (International Society For Photogrammetry and Remote Sensing) vol. 3-4, Tokyo, 1988.
- /6/ : ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing) vol. 3-4, Washington, 1992.
- /7/ : ZEISS Prospectus, Brochures, Papers and Manuals, Carl Zeiss, Oberkochen, GERMANY, 1992.
- /8/ : INTERGRAPH Prospectus, Brochures, Papers and manuals, Intergraph Corporation, Huntsville, Alabama, USA, 1992.
- /9/ : Marmara Araştırma Merkezi (MAM), UBİTEK 1. Temel Uzaktan Algılama Kursu Ders Notları, Gebze-KOCAELİ, Mayıs 1993.
- /10/ : Some information about GPS-Supported Aerotriangulation, INPHO GmbH, Stuttgart, 1993.

YAZAR ADRESLERİ

Yük.Müh.Yzb.Emin BANK

Yük.Müh.Yzb.Hayati TAŞTAN

Harita Genel Komutanlığı

06100 ANKARA

Yrdc.Doç.Dr.Ahmet KAYA

K.T.Ü.Mühendislik Mimarlık Fakültesi

Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği

Bölümü

61080 TRABZON

Yük.Müh.Yb.Mustafa ÖNDER

Harita Genel Komutanlığı

06100 ANKARA

Yük.Müh.Yzb.Mahmut ÖZBALMİMCU

Harita Genel Komutanlığı

06100 ANKARA